

# **“IDROGENO DA COMBUSTIBILI: OTTIMIZZAZIONE DEL PROCESSO DI CRACKING PIROLITICO IN REATTORI A LETTO FLUIDO”**

## **CAPITOLO 1. INTRODUZIONE ALL’IDROGENO**

### 1.1 Introduzione all’idrogeno

### 1.2 Principali sistemi di produzione dell’idrogeno

#### 1.2.1 Elettrolisi

#### 1.2.2 Steam reforming

#### 1.2.3 Ossidaz parziale non catalitica di idrocarburi

#### 1.2.4 Gasificazione del carbone

#### 1.2.5 Pirolisi e gasificazione delle biomasse

#### 1.2.6 Processi a energia solare

#### 1.2.7 Processi biologici

## **CAPITOLO 2. GASIFICAZIONE PER PRODUZIONE DI IDROGENO**

### 2.1 Reattoristica

#### 2.1.1 Reattori a letto trascinato

#### 2.1.2 Reattori a letto fluido

##### Letto fluido bollente

##### Letto fluido circolante

#### 2.1.3 Reattori a letto fisso

##### Controcorrente

##### Equicorrente

#### 2.1.4 Gasificatori indiretti

### 2.2 Caratteristiche del processo di gasificazione

### 2.3 Gasificazione di rifiuti

#### 2.3.1 Schema di un processo di gasificazione di rifiuti

### 2.4 Gasificazione di biomasse

#### 2.4.1 Processi termochimici

#### 2.4.2 Schema di un processo di gasificazione di biomasse

## **CAPITOLO 3. PRODUZIONE DI IDROGENO E LIFE CYCLE ASSESSMENT**

### 3.1 Pulizia del syngas

### 3.2 Reattore si shift

### 3.3 Separazione dell’idrogeno

### 3.4 Ricerca e sviluppo

#### 3.4.1 Processo complessivo

- 3.4.2 Reazione di water gas shift (WGS)
  - 3.4.3 Separazione dell'idrogeno
  - 3.4.4 Purezza dell'idrogeno
- 3.5 Life cycle assessment
  - 3.5.1 Le fasi del LCA
    - 3.5.1.1 Definizione degli obiettivi – ISO 14040
    - 3.5.1.2 Inventario – ISO 14041
    - 3.5.1.3 Valutazione degli impatti – ISO 14042
    - 3.5.1.4 Interpretazione – ISO 14043
  - 3.5.2 Difficoltà e benefici
  - 3.5.3 LCA semplificate
- 3.6 Esempio di LCA
  - 3.6.1 Processo IGCC
  - 3.6.2 Risultati LCA

## **CAPITOLO 4. SVILUPPO METODO DI OTTIMIZZAZIONE PROCESSO DI PRODUZIONE DI IDROGENO**

- 4.1 Metodo
  - 4.1.1 Opportunità dell'approccio modellistico
  - 4.1.2 Applicazione tecniche dei modelli
- 4.2 Modello di un processo
  - 4.2.1 ASPEN Plus®
  - 4.2.2 Modello CPD
- 4.3 Definizione degli scenari
  - 4.3.1 Scenario N° 1: Utilizzo dell'idrogeno per alimentazione trasporti pubblici città di Pisa
  - 4.3.2 Scenario N° 2: Utilizzo dell'idrogeno per come combustibile per autotrazione

## **CAPITOLO 5. MODELLAZIONE PROCESSO DI PIROLISI E COMPONENTISTICA TRATTAMENTO SYNGAS**

- 5.1 Descrizione generale del processo
- 5.2 Modello di simulazione
  - 5.2.1 Descrizione dei componenti e delle proprietà
  - 5.2.2 Definizione dei blocchi
  - 5.2.3 Modellazione della cinetica di pirolisi
  - 5.2.4 Modulo per la cinetica di reforming
- 5.3 Simulazione
  - 5.3.1 Descrizione condizioni operative
  - 5.3.2 Risultati delle simulazioni

#### 5.4 Considerazioni finali sul processo

## **CAPITOLO 6. MODELLAZIONE PROCESSO INTEGRATO DI GASIFICAZIONE PER PRODUZIONE DI IDROGENO (IGHP)**

### 6.1 Descrizione generale del processo

- 6.1.1 Gasificazione
- 6.1.2 Trattamenti primari syngas
- 6.1.3 Reazione di shift
- 6.1.4 Separazione idrogeno
- 6.1.5 Turbogas e HRSG
- 6.1.6 Ciclo vapore

### 6.2 Simulazione del processo in ASPEN Plus®

- 6.2.1 ASU
- 6.2.2 Gasificatore diretto
- 6.2.3 Gasificatore indiretto
- 6.2.4 Quench
- 6.2.5 Recupero di calore
- 6.2.6 Filtrazione
- 6.2.7 Rimozione gas acidi
- 6.2.8 Shift
- 6.2.9 PSA
- 6.2.10 Turbogas
- 6.2.11 Cicli vapore
- 6.2.12 Design specification

### 6.3 Risultati della simulazione

- 6.3.1 Descrizione delle condizioni operative
  - 6.3.1.1 Cinetica di gasificazione del char
- 6.3.2 Air separation unit (ASU) per GD
- 6.3.3 Combustore del char per GI
- 6.3.4 Produzione di vapore
- 6.3.5 Flussi energetici
- 6.3.6 Rendimenti dei processi

### 6.4 Analisi di sensitività

### 6.5 Gasificazione di retta di biomasse

- 6.5.1 Modifiche al modello
- 6.5.2 Risultati della simulazione

## **CAPITOLO 7. CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI**

### **APPENDICE A**

### **APPENDICE B**